

ESTUDO DO EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA DE CASCA DE ARROZ E ADIÇÃO DE FIBRA DE BAMBU

Ângelo Miguel da Costa (1), Ângela Costa Piccinini (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) angelomiguel_rsas@hotmail.com, (2) acp@unesc.net

RESUMO

Nos dias atuais a preocupação com sustentabilidade, reutilização e racionalização dos materiais é cada vez maior. A grande variedade de fibras naturais para reforço de compósitos usados na produção de argamassas e concretos, faz com que cada vez mais se estudem as suas potencialidades. Sendo o Brasil um dos maiores produtores de arroz do mundo e pela facilidade de obtenção do bambu, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento mecânico do concreto com adição de fibra de bambu e substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz. Foram analisadas misturas com substituição do cimento em 5%, 7,5% e 10% por cinza de casca de arroz (CCA), combinadas com adição de 1% e 2% de fibra de bambu (FB), ambos materiais orgânicos, renováveis e de baixo custo de produção. Os corpos de prova de 10 x 20 cm foram submetidos aos ensaios de Resistência à Compressão, Resistência à Tração por Compressão Diametral e Módulo de Elasticidade aos 28 dias. Em todas as análises, a diferença significativa ocorreu nas misturas com maior quantidade de fibras, onde a resistência à compressão apresentou uma redução de aproximadamente 73,85% em relação ao composto com 1% fibra. A mistura com 10% de CCA e 1% de FB apresentou os melhores resultados de resistência à compressão e resistência à tração, com valores de 28,07 MPa e 3,76 MPa, respectivamente. Na análise por difração de raios X, observou-se estado amorfo na cinza de casca de arroz e o índice de pozolanidade obtido foi de 89,28% dentro do previsto pela norma NBR 5752:2014. No módulo de elasticidade e na resistência à tração, os valores ficaram acima daqueles calculados pela NBR 6118:2014, chegando a atingir percentuais superiores em 41,02% e 56,80%, respectivamente. Diante dos resultados, a substituição de cimento por CCA é algo viável e benéfico, além de todo seu potencial ecológico, o mesmo ocorre com a FB, com percentuais menores.

Palavras-Chave: Bambu. Concreto. CCA. Desempenho. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In the present day the concern with sustainability, reutilization and rationalization of materials is increasing. The great variety of natural fibers for reinforcement of composites used in the production of mortars and concretes, makes more and more study their potentialities. As Brazil is one of the largest rice producers in the world and due to the ease of obtaining bamboo, the present work has the objective of analyzing the mechanical behavior of the concrete with addition of bamboo fiber and partial replacement of the cement with rice hull ash. Cement substitution mixtures were

analyzed in 5%, 7.5% and 10% of rice husk ash (RHA), combined with 1% and 2% of bamboo fiber (BF), both organic materials, renewable and low cost of production. The 10 x 20 cm specimens were submitted to the tests of compressive strength, tensile strength by diametrical compression and modulus of elasticity at 28 days. In all analyzes, the significant difference occurred in blends with higher amounts of fibers, where the compressive strength showed a reduction of approximately 73.85% over the compound with 1% fiber. The mixture with 10% RHA and 1% BF presented the best results of compressive strength and tensile strength, with values of 28.07 MPa and 3.76 MPa, respectively. In the X-ray diffraction analysis, an amorphous state was observed in the rice hull ash and the pozzolanicity index obtained was 89.28% within the range of NBR 5752: 2014. In the modulus of elasticity and the tensile strength, the values were above those calculated by NBR 6118: 2014, reaching a percentage of 41.02% and 56.80%, respectively. In view of the results, the replacement of cement by CCA is feasible and beneficial, in addition to all its ecological potential, the same is true of BF, with smaller percentages.

Keywords: Bamboo. Concrete. RHA. Performance. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade dos materiais é cada vez mais alarmante, tanto que a relação entre concreto e sustentabilidade foi tema norteador no 57º Congresso Brasileiro do Concreto, promovido pelo Ibracon em 2015 (SANTOS, 2015). Uma alternativa para isto pode ser a substituição de agregados e/ou cimento por outros materiais que tragam benefícios ecológicos.

O concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água. Estima-se que 7% da geração de dióxido de carbono é proveniente da produção de cimento Portland (QOMI, 2014).

Outro aspecto importante a destacar é o fato de selos ambientais como Leed e Acqua, que só podem ser obtidos através de uma reorganização do projeto e execução que incluem o material em si.

Uma dessas alternativas é a cinza da casca de arroz (CCA), sendo que o Brasil é um dos maiores produtores de arroz do mundo, e a região sul é responsável por cerca de 90% dessa produção. (SANTOS, 2012). O Brasil produz cerca de 15 milhões de toneladas de arroz em peso de casca, (BrazilianRice, 2018). Antes da criação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, a maioria deste resíduo era descartada de maneira incorreta. (HOFMANN et. al., 2010)

Segundo Cordeiro (2009), dois aspectos são importantes a serem destacados no cimento pozolânico. Sendo a sílica ativa proveniente da CCA, uma pozolana natural contribui em inúmeros fatores na pasta cimentícia, como sua cura com calorimetria mais branda, sendo mais lenta, gerando menos fissuração. Outro fator importante a ser destacado é a reação com hidróxido de cálcio, proveniente do processo de hidratação de C_3S e C_2S , enquanto que na pasta somente composta com cimento anidro, esta fica solta pela estrutura, o que corresponde a 30% da massa, o que pouco contribui com a resistência mecânica e aumenta sua porosidade, além de o mesmo poder ser facilmente lixiviado pela água ao longo do tempo; no cimento pozolânico o efeito é quase que anulado, sendo menos poroso e com um ganho de resistência mecânica. Outro fator importante é que os compostos não reagentes ao hidróxido de cálcio atuam em forma de filler, preenchendo os espaços vazios da estrutura (AITICIN, 2000).

Segundo Pereira (2015, p.228):

“As principais vantagens do uso dessas adições são os ganhos de resistência mesmo quando se diminui a quantidade de cimento na mistura; já na microestrutura, contribuem para o desenvolvimento de uma matriz mais definida e uma estrutura geral menos porosa, o que permite maior resistência ao ataque de agentes agressivos, melhorando sua condição de durabilidade aliada a uma maior resistência mecânica.”

Outra alternativa é o emprego de fibras vegetais, originando o concreto reforçado com fibras vegetais. Dentre estas, uma que se destaca principalmente pela facilidade de obtenção em território brasileiro é o bambu, e não sendo nocivo ao meio ambiente. (OLIVEIRA et. al., 2014)

De acordo com Abreu; Oliveira (2015) uma das características do concreto é sua baixa resistência à tração, algo em torno de 10% da resistência à compressão, o que é solucionado pela adição de barras de aço na parte tracionada, mas, mesmo assim a parte cimentícia do mesmo ainda fissa, o que com o tempo pode ocorrer a carbonatação. Contudo, muitos estudos têm sido desenvolvidos na área a fim de solucionar a problemática. Sendo o emprego de fibras algo viável, pois as mesmas distribuem as tensões internas de forma mais eficiente e tendem a gerar uma ruptura mais dúctil do concreto (Abreu; Oliveira, 2015).

Diante deste cenário, o presente estudo tem por objetivo analisar o comportamento mecânico do concreto com a utilização de cinza de casca de arroz (CCA) e fibra de bambu (FB), através de traços já analisados de forma isolada, com substituição parcial

do cimento por CCA, nas proporções de 5%, 7,5% e 10% e adição de 1% e 2% de fibra de bambu, de modo a atender as resistências indicadas nas classes I e III da NBR 6118:2014. Os traços foram baseados nos trabalhos de Thashima et. Al (2006) e Oliveira (2014) e buscam uma nova alternativa em materiais orgânicos para concretos mais ecológicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland pozolânico do tipo CP IV da marca Votorantim, devido a sua baixa calorimetria de cura, o que gera uma matriz menos porosa, qualidades assemelhadas a materiais pozolânicos como a sílica proveniente da cinza de casca de arroz.

2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média disponibilizada pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), com densidade específica de 2,60 g/cm³ e módulo de finura de 2,34, de acordo com a NBR 7211(2005), sendo esta seca em estufa a 100°C pelo período de 24 horas antecedentes a concretagem.

2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1, também disponibilizado pelo LMCC, a fim de se obter um traço mais homogêneo, sendo classificado conforme NBR 7211 (ABNT, 2005) com diâmetros na faixa de 9,5mm a 19mm. A brita foi colocada em estufa a 100°C por 24h e repousada 24h antes da concretagem a fim de retirar a umidade.

2.1.4 Água

A água utilizada foi a da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) de Criciúma, tanto para a cura quanto para a concretagem.

2.1.5 Aditivos e produtos químicos

Foram utilizados o plastificante QR-350 da marca Queveks sediada em Araranguá-SC para a concretagem e hidróxido de sódio (NaOH) diluído em água para a designificação do bambu.

2.1.6 Casca de arroz e preparo da cinza

A casca de arroz foi proveniente de uma empresa da cidade de Forquilha-SC. A mesma foi processada e preparada no LMCC.

As cascas de arroz foram incineradas em mufla elétrica com uma taxa de aquecimento de 7°C/ min até atingir 700°C onde permaneceu neste patamar por 5 horas. O resfriamento foi a temperatura ambiente com a mufla fechada. Após isto, foi moído em moinho de bolas do tipo vira jarra, pelo tempo de 20 min em 180rpm como ensaiado por Tashima (2006). Foram incinerados 25,342kg de matéria bruta in natura, obtendo-se 3,912Kg de cinza tendo um aproveitamento médio de 15,44%.

Sendo Tashima,2006, a casca in natura apresenta somente 20% de sílica, e com a queima da mesma pode chegar até 98%, sendo os demais componentes químicos, a alumina (Al_2O_3), Óxido de Ferro 3 (Fe_2O_3), que atuam como complementos dos espaços vazios da mistura.

2.1.7 Bambu e prepara da fibra

O bambu utilizado foi da espécie *Dendrocalamus giganteus*, que devido às suas características mecânicas, pode atingir módulo de elasticidade de 13 GPa nodal e

23,75 GPa internodal (JÚNIOR et al., 2005), resistência à tração de 135 MPa (GHAVAMI,1995), resistência à compressão de 538 MPa no colmo (GRECO et al., 2006), e peso específico de 0,63 g/cm³ (Nascimento & Della Lucia, 1994). Considera-se uma fibra de boa qualidade, sendo que o mesmo foi transportado para o LMCC, processado e tratado.

O bambu foi cortado em formato de cavacos, em tamanho aproximado de 2 a 3 cm, por 5 a 6 cm, depois laminado e submerso em solução de 25% de hidróxido de sódio sendo aquecido a 90°C durante 06 horas para a remoção de extrativos de hemicelulose e deslignificação. Foram submetidos 3,920Kg de matéria in natura ao processo, obtendo-se 1,820Kg, com um percentual de aproveitamento de 46,43%. Após foram limpos e processados em argamassadeira repetidas vezes, até que o material não apresentasse mais coloração da lignina e estivesse separado. Os tamanhos finais foi variável 5 a 8 mm de comprimento por 0,5 a 1 mm de espessura. Como ainda não á uma norma para fibras naturais o processo foi obtido e escolhido a partir dos resultados obtidos por Azzin; Tomaz, 1996.

2.2 Dosagem e moldagem dos corpos de prova

O fck adotado neste trabalho foi de 20 MPa. O traço calculado foi de 1:2:3 com relação água/cimento de 0,50.

Foram dosados 10 traços diferentes, sendo um traço referência, 9 interpolações entre 5%, 7,5% e 10% de CCA com substituição de 0%, 1%, e 2% de adição de fibras de bambu. O aditivo utilizado foi adicionado até se obter um slump de 8 ± 1 cm para todos os traços. A tabela 1 indica os traços e os quantitativos de materiais usados. Foram moldados 6 corpos de prova para cada traço.

Tabela 1- Quantitativos materiais utilizados

Material (kg)	REF.	CCA 5%	CCA 7,5%	CCA 10%	CCA 5% F.B. 1%	CCA 7,5% F.B. 1%	CCA 10% F.B. 1%	CCA 5% F.B. 2%	CCA 7,5% F.B. 2%	CCA 10% F.B. 2%
Cimento	4,758	4,520	4,401	4,282	4,520	4,401	4,282	4,520	4,401	4,282
Água	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380

Brita 1	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55	14,55
Areia	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97
Plastificante				0,015 17	0,017 94	0,026 98	0,101 12	0,106 43	0,162 35	0,216 64
CCA		0,238	0,357	0,476	0,238	0,357	0,476	0,238	0,357	0,47 6
Fibra de Bambu					0,047 58	0,047 58	0,047 58	0,095 16	0,095 16	0,09 516

2.3 Métodos avaliativos

2.3.1 Determinação da massa específica e granulometria da CCA

Os materiais foram calculados e definidos através do ensaio de Chapman, conforme NBR 9776 (ABNT, 1987).

A CCA apresentou uma densidade média aparente de 420kg/m³ e 635kg/m³ compactada.

Na análise por granulometria a laser, a CCA após o processo de moagem obteve um passante de 100%, 98,62% e 94,93% nas peneiras #200, #325 e #400, respectivamente.

2.3.2 Índice de pozolanidade da CCA

O índice de pozolanidade foi obtido através do que preconiza a NBR 5752 (ABNT, 2014), onde foram confeccionados 06 corpos de provas cilíndricos de argamassas de cimento e areia normal (Traço A), e mais 06 corpos de provas cilíndricos confeccionados com substituição de 25% de cimento por CCA (Traço B) no tamanho de 50x100 mm. Foram rompidos à compressão aos 28 dias, após a cura submersa, sendo os valores médios de traço utilizados na seguinte fórmula, conforme item 6.2:

$$I_{\text{cimento}} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \cdot 100$$

Onde f_cB é a resistência média aos 28 dias do traço B e f_cA refere-se ao traço A. O índice tem que ser superior a 75% para atender a norma.

2.3.3 Resistência à Compressão

Dos corpos de provas moldados, foram separados 03 corpos de prova para o teste de 28 dias (tolerância de 24 horas), para cada traço de concreto, totalizando 30 corpos de provas. Os mesmos foram submetidos à compressão pelo equipamento PC200i da marca EMIC do tipo servo-hidráulica com capacidade de até 2000KN de força, seguindo as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 7215 (ABNT, 1996).

2.3.4 Módulo de Elasticidade por Compressão

Com os resultados obtidos para compressão, 30 corpos de prova, 03 para cada traço foram submetidos ao equipamento PC200CS da marca EMIC, segundo norma NBR 8522 (ABNT, 2008).

2.3.5 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Foram ensaiados 30 corpos de prova, 03 para cada traço no equipamento PC200i da marca EMIC do tipo servo-hidráulica com força máxima de 2000 KN, conforme NBR 7222 (ABNT, 2011).

2.3.6 Difração de Raios-X

A difratometria objetiva identificar as fases cristalinas presentes na amostra, gerados pelos picos na difração dos raios emitidos pelos átomos característicos do material. O mesmo foi realizado com o auxílio do equipamento XRD-6000 da marca SHIMADZU LAB X.

2.3.7 Análise da ruptura dos corpos de prova

Foram fotografados e analisados os corpos de prova quanto a sua ruptura.

2.3.8 Distribuição F de Fisher-Snedecor

Todos os conjuntos de resultados foram analisados segundo a distribuição, com seus respectivos graus de liberdade, em função do grupo e número de amostras. Calculados os valores F, foram comparados com os valores F tabelados para um intervalo do teste bicaudal, de 95% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índice de pozolanicidade da CCA

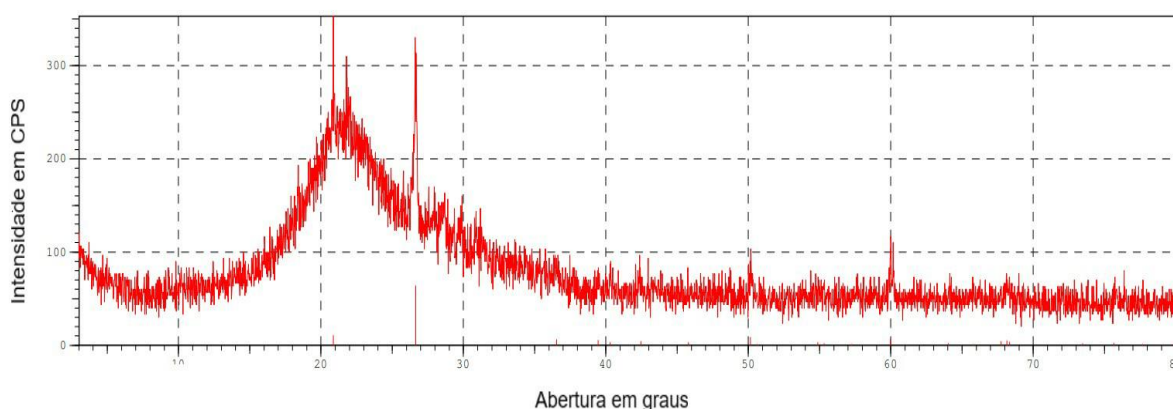
As médias encontradas foram de 24,34 MPa para o grupo A e 21,73 MPa para o grupo B, com uma amostra de maior variação descartada para ambos os grupos, de acordo com o coeficiente de desvio relativo máximo de 6% normalizados pelas normas NBR 5752:2014 e NBR 7215:1996.

Com estes números, obteve-se o índice de atividade pozolânica de 89,28%, um pouco abaixo dos valores encontrados por Tashima(2006), mas atendendo o imposto pela norma NBR 5752:2014.

3.2 Difração de Raios-X

No Gráfico 1, encontra-se os resultados coletado pelo difratômetro caracterizado no item 2.4.6 . Os valores maios altos demonstram picos cristalinos.

Gráfico 1- Difractometria de Raios-X

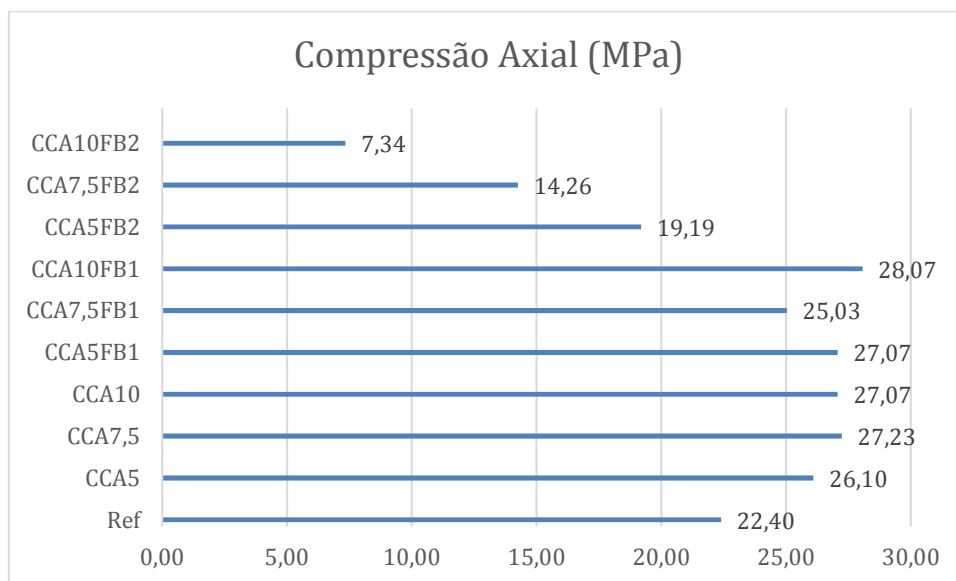


Pode-se observar a presença do halo amorfo entre 17° e 28°, característica típica de materiais pozolânicos, o pico aproximado aos 21°, enquadrando o material como dióxido de silício (SiO_2) na forma cristalina de quartzo em base dos valores padrões do JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). Os valores e gráficos assemelham-se em muito com o obtido por Tashima (2006).

3.3 Resistência à Compressão

O Gráfico 2 apresenta os valores médios de cada grupo para resistência à compressão axial.

Gráfico 2- Resistência à Compressão Axial



É possível observar que somente com a CCA há um ganho de resistência, tendo um pico com 7,5% com 27,23 MPa e estabilizando-se mesmo com 10% de substituição, semelhante aos resultados encontrados por Tashima, 2006. Com a adição de 1% de FB, há um ganho em resistência, chegando a 20,84%, mas, com adição de 2% de FB houve uma perda significativa de até 67,23% de resistência. O traço CCA10FB1 obteve a maior média, seguido por CCA7,5. O resultado envolvendo FB foi diferente ao de Oliveira (2014), onde houve ganho e pouca variação. Mas comparado aos resultados obtidos por Correia, 2010, há o mesmo comportamento.

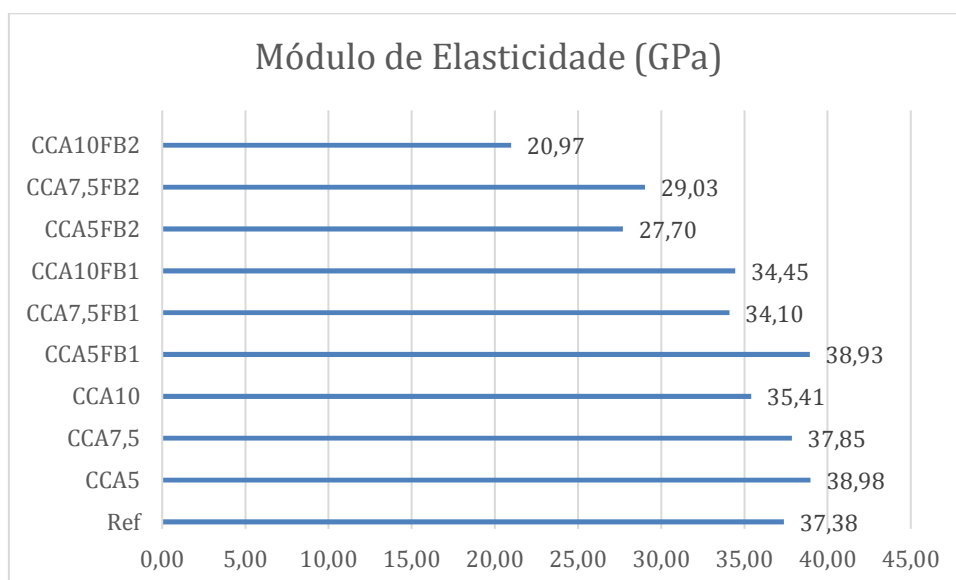
O ganho somente com a CCA, provém principalmente da reação pozolânica da sílica ativa. Enquanto que a perda da resistência com 2% de FB, se deve ao fato de grande quantidade de finos, uma baixa relação A:C e excesso de plastificante.

Quando analisados em pequenos grupos, onde temos o grupo A somente composto por substituições de CCA sem FB, há uma diferença estatística, independente da presença do traço referência. No grupo B onde temos o valor fixo de CCA5 e variações de fibra de 0 a 2%, independente da presença do traço referência também há diferença estatística. O mesmo cenário acontece para o grupo C, onde temos o valor fixo de CCA7,5 e variações de FB, e novamente para o grupo D, onde temos o valor fixo de CCA10 e variações de FB.

3.4 Módulo de Elasticidade por Compressão

Com os resultados obtidos pelo ensaio de compressão axial, foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade pela NBR 8522:2008 com 30% da carga de ruptura. O Gráfico 3 apresenta os valores médios para cada traço.

Gráfico 3- Módulo de Elasticidade



Nas misturas contendo somente cinza de casca de arroz, as diferenças não são significativas, semelhante ao encontrado por Tashima,2006. No caso da fibra do bambu há uma tendência a diminuição do módulo com percentual cada vez maiores,

diferente do resultado encontrado por Oliveira, 2014, que também encontrou perdas, mas muito próximas ao módulo de referência. Quando comparado a Correia, 2010, os resultados seguem um comportamento parecido, mas, com picos de queda mais elevados.

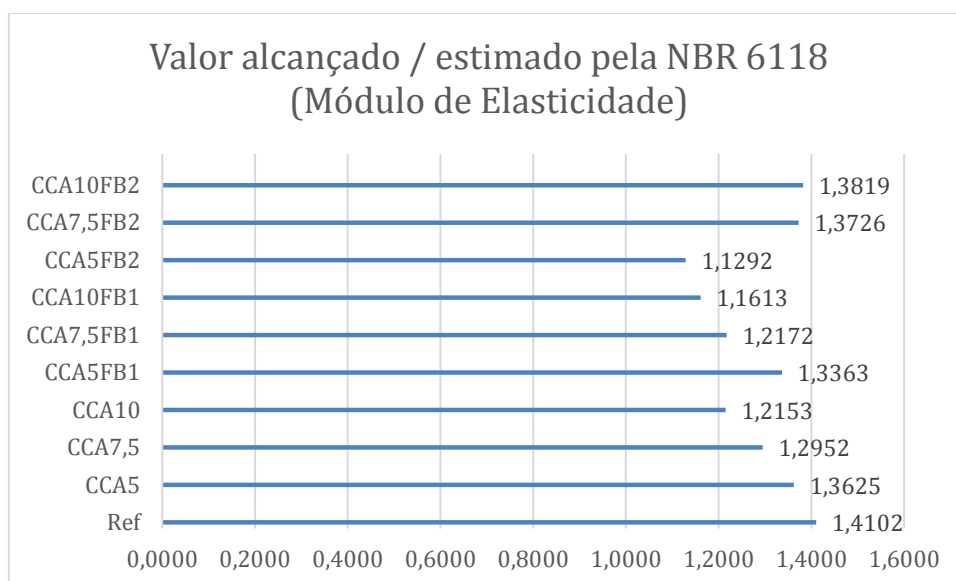
Nestes ensaios nota-se que a sílica não produziu efeitos no módulo de elasticidade, que é decorrente do fato, de apesar de haver ganho de resistência a compressão, uma possível diminuição da elasticidade do material devido ao enrijecimento provocado pela alumina e óxido ferroso.

Quando temos a adição de FB, mantém-se os mesmos valores com 1%, mas uma grande queda com 2% devido principalmente a perda da resistência, que foi descrita no item anterior.

Novamente disposto em grupos como no item anterior, o grupo A, não apresenta diferença estatística independente do traço referência, no grupo B, sem o traço referência há diferença, quando inclui-se o mesmo não diferença estatística. Para o grupo C, independente do traço referência há diferença estatística. Novamente isto ocorre com o grupo D.

No Gráfico 4, encontra-se a razão, entre o valor obtido neste trabalho, para o módulo de elasticidade, e o valor estipulado pela NBR 6118:2014, utilizando a fórmula $E = \sqrt{f_{ck}}$ com base na resistência média de cada traço do item 3.3.

Gráfico 4- Razão valor alcançado/ estimado para o módulo de elasticidade

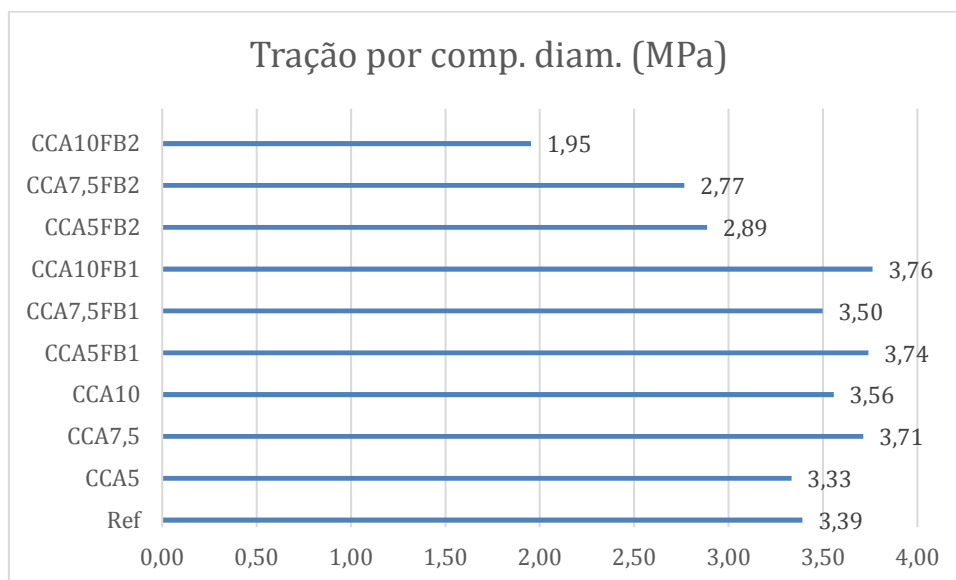


Todos os valores obtidos foram maiores que os estipulados por norma. Tendo uma tendência neste trabalho de quanto maior a resistência média, menor o percentual subestimado por norma.

3.5 Resistência à tração por compressão diametral

Os valores das resistências médias a tração para cada traço são apresentados no no Gráfico 5.

Gráfico 5- Tração por Compressão Diametral



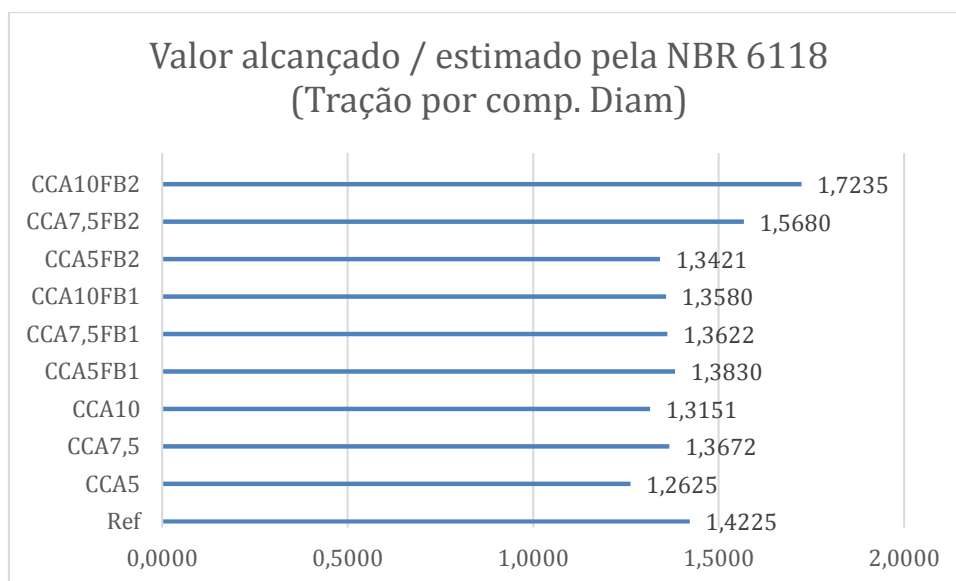
Novamente, os valores encontrados com as misturas sem adição de fibras, foram semelhantes ao de Tashima, 2006. Ao adicionar 1% de FB houve um ganho de até 10,91% e com 2% de FB uma queda de até 42,48%, semelhante aos resultados de Oliveira, 2014, e um pouco diferentes aos de Correia, 2010, onde com o aumento de fibras, diminuía-se a resistência.

Quando tem-se a presença somente de CCA, há uma tendência de estabilização, pelo de haver ganho de resistência com a sílica, mas um enrijecimento do material provenientes dos minerais da CCA, que não transmitem de forma eficiente as tensões internas. Com o uso de FB, há ganhos com 1% devido a distribuição interna de tensões decorrente das fibras (Abreu, 2015), mas com 2% de FB, há grandes quedas devido principalmente ao excesso de plastificante e saturação da massa pela própria FB.

Utilizando-se dos grupos citados no item anteriores, o grupo A, não apresenta uma diferença significativa, independente do traço referência, os grupos B e C apresentam uma diferença estatística independente do traço referência, e o grupo D, só apresenta diferença sem a presença do traço referência.

A relação entre o valor encontrado neste trabalho e o estipulado pela NBR 6118:2014, utilizando a fórmula $f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{(2/3)}$ encontra-se no Gráfico 6.

Gráfico 6- Razão valor médio/ estimado por tração à compressão diametral

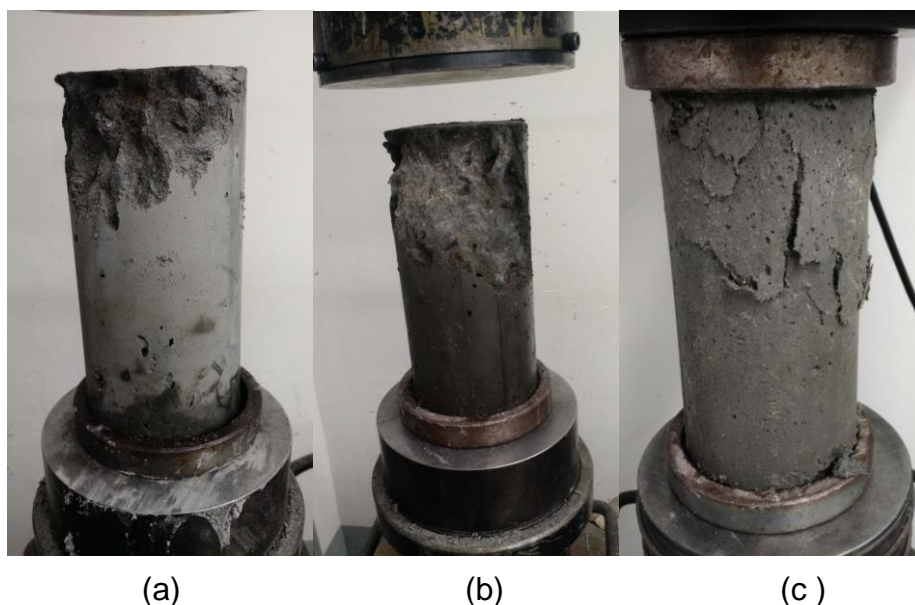


Observa-se que todos os traços ficaram acima do estipulado em pelo menos 31,51%.

3.6 Análise da ruptura dos corpos de prova

É possível observar na Figura 1 que, mesmo com adições de fibra e substituição do cimento por CCA, a tendência da ruptura por compressão axial é de forma semelhante. É possível também notar nos traços onde há adição de FB, que o concreto após ruptura se mantém coeso ao corpo de prova, evitando seu deslocamento. As figuras envolvendo FB, tiveram sempre o mesmo comportamento físico a olho nú.

Figura 1:(a)Traço referência;(b) Traço CCA5; (c) Traço CCA5FB1



4. CONCLUSÕES

Na análise granulométrica, observou-se que a cinza de casca de arroz é um material mais fino que o próprio cimento, devido ao seu passante de 98,62% e 94,93% nas peneiras #325 e #400. A CCA obteve um índice de atividade pozolânica de 89,28%, uma distribuição de fases amorfa, um percentual de sílica ativa de até 98% o que a caracteriza como um excelente material para substituição do cimento.

Nos resultados de ensaio à compressão axial, a substituição de 7,5% de CCA foi responsável pelo acréscimo de 21,56% da resistência e manteve-se com 10%. Com a adição de 1% de fibra de bambu, foi obtido um ganho de até 25,31% na resistência, e com 2% de FB houve reduções de até 67,23%.

O módulo de elasticidade, somente com substituição de CCA, obteve um ganho de até 4,28%. Com adição de 1% de FB há um ganho de 4,15% e com 2% de FB há uma queda de até 43,90%.

Já na resistência à tração por compressão diametral, somente com CCA, há um ganho de até 9,44%. Com adição de 1% de FB há um ganho de até 10,91% e com 2% de FB uma perda de até 42,48%.

É notável a melhora no comportamento mecânico somente com a substituição de parte do cimento por CCA. Há também os ganhos físicos, como redução de poros e ligeira redução do peso específico. Quanto à FB, com adição de 1% houve um ganho em todas as análises e com 2% de FB houve uma diminuição significativa. Isto se deve principalmente ao fato da baixa relação a/c que foi fixada em 0,5, em que se tratando de fibras naturais, é algo que prejudica a hidratação interna do concreto no processo de cura. Foi necessária uma adição de 5% de aditivo para o slump padrão, muito além do recomendado por fabricante e literatura.

Considerando-se os ganhos e o aspecto ambiental que os substitutos naturais trazem ao concreto, como redução de emissões de gás carbônico na produção do concreto, reutilização da casca de arroz, que a mesma pode custar até 30% menos que a produção de cimento quando em larga escala, o fácil plantio e obtenção do bambu, comprova-se um passo à frente de um concreto mais verde e tecnológico.

Para trabalhos futuros, recomenda-se estudar teores menores de adição de FB, analisar a tração por flexão, reação do concreto após incinerado, e ensaios com traços em peças armadas com aço.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, Roberto Vicente Silva de; OLIVEIRA, Hellen Cristina Prata de. **Concreto reforçado com fibras: aperfeiçoamento das propriedades físicas e mecânicas**. I Seminário científico da FACIG. Munhaçu-MG, 2015.

AITCIN, P. **Concreto de alto desempenho**. Ed. PINI, São Paulo, SP. Tradução de Geraldo G. Serra. 2000 667 p.

AZZINI, A.; TOMAZ, R. M. A. G. **Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio**. Campinas-SP, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5752: Materiais pozolânicos: Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 5753: cimento portland pozolânico: determinação da pozolanicidade.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211: agregados para concreto: especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7215: cimento Portland: determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 8522: concreto: determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11578: cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12653: materiais pozolânicos.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

BrazilianRice. **Perfil de produção.** 2018. Disponível em: <
<http://brazilianrice.com.br/br/sobre-o-brasil/>> Acesso em: 08 de dezembro de 2018.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica.** 2009. 98 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola Engenharia. Porto Alegre-RS, 2009.

CORREIA, Viviane da Costa; ALVES, José Dafico. **AVALIAÇÃO DO BIOCRETO COM FIBRAS MINERALIZADAS DE BANANEIRA**. UNUCET-UEG. Anápolis-GO, 2010.

GHAVAMI, K. **Bambu: um material alternativo na engenharia**. Engenharia (492): 23-27, 1992.

GRECO, T. M., REINGRUBER, E., GARCIA, J.N. **Resistência à compressão paralela de colmos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP, 2006.

JÚNIOR, H. C. L.; WILLRICH, F. L.; FABRO, G. **Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. II: modelagem e critérios de dimensionamento**. UNIOESTE. Cascavel-PR, 2005.

HOFFMAN, C.A. S; JAHN, S.L; BAVARESCO, M; SARTORI, T.C.... **Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte**. 2010. 14 p. Disponível em: < http://coral.ufsm.br/cenergia/arte_final.pdf > Acesso em: 30 de março de 2018.

MALISKA, Ana Maria. **Microscopia Eletrônica de Varredura**. Apostila, Laboratório de Materiais – LabMAT, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009, 98p.

NASCIMENTO, A . M., DELLA LUCIA, R.M. **Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)**. Viçosa, MG: SIF, 1994. 7p. (Boletim SIF. 6).

OLIVEIRA, C. S.;VITO, M. **SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AÇO, USANDO BAMBU COMO ARMADURA DE COMBATE A FLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO**. UNESC.Criciúma-SC,2012.

OLIVEIRA, R; GOUVEIA, L.L.A.; TEIXEIRA, R.L.P. **Concreto Estrutural com Adição de Fibras Vegetais**. Revista Construindo. Belo Horizonte-MG2014.

PEREIRA, A. M. et. al.. **Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz**. Revista Matéria. Ilha Solteiras-SP, 2015. 228p
QOMI, M.J.A. et al. **Combinatorial molecular optimization of cement Hydrates**. **Nature Communications**. Vol.: 5, Article number: 4960 DOI: 10.1038/ncomms5960, 2014;

SANTOS, Altair. **Ibracon prioriza sustentabilidade do concreto**. São Paulo, 2015.

Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/ibracon-sustentabilidade-do-concreto/>>. Acesso em: 30 março. 2018.

SANTOS, C. E. et. al.. **Anuário Brasileiro do arroz**. Editora Gazeta Santa Cruz. Santa Cruz do Sul-RS, 2012. 128p

THASHIMA, M., M.; SILVA, C. A. R.; AKASKI, J. L. **Influence of rice husk ash in mechanical characteristics in concrete**. In. IV International ACI/CANMET Conference on quality of concrete structures and recente advances in concrete materials end testing. Anais do IV HPC. Olinda-PE, 2003.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. 2006. 80 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006.